

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанции Новокузнецкая - подстанции Новокузнецкий алюминиевый завод-2-2 Кузбасской электроэнергетической системы

УДК 621.316.925.1:621.315.1:621.311.4(571.17)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А5А	Козырев Алексей Михайлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Рубан Н.Ю.	к.т.н		

Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭЭ	Суворов А.А.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОСГН	Потехина Н.В.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), УК-5 *(ОК-6)), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5 *(ОК-6), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5*(ОК-6), УК-7 *(ОК-8), УК-8 *(ОК-9), ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-6 *(ОК-7), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
По профилям подготовки		
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-1 *(ОК-1, ОК-2), УК-2 *(ОК-3, ОК-4), УК-3 *(ОК-5), УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ОПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2 *(ОК-3, ОК-4), ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2*(ОК-3, ОК-4), ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

		<i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-4, ОПК-5, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8 ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ «__» _____ 2019 г. В.В. Шестакова

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5A5A	Козыреву Алексею Михайловичу

Тема работы:

Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанции Новокузнецкая - подстанции Новокузнецкий алюминиевый завод-2-2 Кузбасской электроэнергетической системы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3412/с от 29.04.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i>	1. Параметры защищаемого объекта 2. Параметры прилегающей периферии
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Выбор и расчет релейной защиты линии 220 кВ ПС Новокузнецкая – ПС Новокузнецкий алюминиевый завод-2-2 Кузбасской электроэнергетической со стороны подстанции Новокузнецкая и проверка чувствительности защит.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1.Схема подключения токовых цепей для линий без реакторов ШЭ 2607 016 2.Схема района энергосистемы для проектирования РЗиА 3.Характеристики срабатывания реле сопротивления ДЗ
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.02.19
---	----------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Рубан Н.Ю.	к.т.н.		12.02.19
Ассистент ОЭЭ	Суворов А.А.	-		12.02.19

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А5А	Козырев Алексей Михайлович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5A5A	Козыреву Алексею Михайловичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 26624 руб. Оклад инженера – 21760 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- 33,3% норма амортизации ; - 16% накладные расходы; - 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов 30%.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ перспективности посредством Quad анализа
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ. Формирование графика проведения работ. Разработка графика Ганта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффекта проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. График Ганта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.02.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОСГН	Потехина Н.В.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A5A	Козырев Алексей Михайлович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5A5A	Козыреву Алексею Михайловичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02. «Электроэнергетика и Электротехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования являются помещение закрытого типа с естественной вентиляцией
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> – Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. – Использование оборудования и мебели согласно антропометрическим факторам.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных факторов: – Микроклимат; – Освещение; – Шум; – Анализ выявленных опасных факторов: – Поражение электрическим током; – Возгорание.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – Воздействие на атмосферу; – Воздействие на гидросферу; – Воздействие на литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Возможные ЧС: – Пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A5A	Козырев Алексей Михайлович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.19	Анализ общих сведений о теме бакалаврской работы	10
10.03.19	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы.	10
23.04.19	Анализ характеристик защищаемого объекта	10
26.04.19	Аналитический обзор. Выбор и обоснование устанавливаемых защит. Выбор устройств релейной защиты.	15
1.05.19	Выбор измерительных трансформаторов	5
2.05.19	Расчет параметров релейной защиты в программном комплексе «АРМ СРЗА»	15
5.05.19	Выводы по произведенной работе	15
10.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
22.05.19	Социальная ответственность	10
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Рубан Н.Ю.	К.Т.Н.		

Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭЭ	Суворов А.А	-		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Шестакова В.В.	К.Т.Н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Проектирование релейной защиты линии электропередачи 220 кВ подстанции Новокузнецкая - подстанции Новокузнецкий алюминиевый завод-2-2 Кузбасской электроэнергетической системы» ресодержит 80 страниц, 37 рисунков, 25 таблиц, 20 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: Уставка, релейная защита, короткое замыкание, расчет, ступень, чувствительность, отстройка, согласование, аварийный режим, периферия.

Объектом исследования является воздушная линия 220 кВ от подстанции «Новокузнецкая» до подстанции «Новокузнецкий алюминиевый завод» Кузбасской энергосистемы.

Цель работы: Проектирования релейной защиты линии 220 кВ ПС «Новокузнецкая» – ПС «НКАЗ», расчет и анализ финансового управления проекта, а также анализ рабочего места инженера и определение вредных факторов воздействия на его организм, изучение опасных производственных и экологических проблем.

В процессе работы проведены расчеты уставок срабатывания релейной защиты и определение ее чувствительности к различного рода коротким замыканиям. Проведена примерная оценка себестоимости проекта, определен вес заработной платы руководителя и инженера в работе в целом.

Содержание

Введение.....	13
Описание защищаемого объекта	14
1 Аналитический обзор.....	16
1.1 Выбор и обоснование релейной защиты линии	16
1.2 Аппаратная реализация релейной защиты	16
1.3 Выбор устройств РЗА	17
1.4 Выбор измерительных трансформаторов	18
1.4.1 Выбор трансформатора тока	18
1.4.2 Выбор трансформатора напряжения	23
2 Расчет параметров релейной защиты.....	24
2.1 Дистанционная защита	24
2.1.1 Расчет уставки первой ступени	24
2.1.2 Расчет уставки второй ступени.....	27
2.1.3 Расчет уставки третьей ступени	32
2.2 Токовая защита нулевой последовательности	37
2.2.1 Расчет первой ступени.....	38
2.2.2 Расчет уставки второй ступени.....	39
2.2.3 Расчет уставки четвертой ступени	42
2.3 Токовая отсечка	44
2.3.1 Расчет уставки ТО	44
2.4 Результаты расчетов.....	46
Выводы	47
3 Финансовый менеджмент.....	48
3.1 Анализ конкурентоспособности технического решения	48
3.2 Планирование разработки проекта.....	50
3.3 Установление трудоемкости выполнения работ.....	51
3.3.1 Разработка графика выполнения проекта.....	52
3.4 Определение бюджета разработки проекта.....	55

3.4.1 Расчет материальных затрат на разработку проекта	56
3.4.2 Расчет затрат на оборудование и программные комплексы.....	56
3.4.4 Дополнительная заработная плата участников проекта	59
3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	60
3.4.6 Накладные расходы.....	61
3.4.7 Формирование бюджета затрат проекта.....	61
3.5 Описание потенциального эффекта проекта.....	62
4 Социальная ответственность	63
Основные аспекты раздела социальная ответственность	63
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
4.2 Производственная безопасность.....	65
4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	66
4.3.1 Акустический шум	66
4.3.2 Микроклимат	66
4.3.3 Освещение.....	67
4.3.4 Электрический ток	68
4.3.5 Возгорание	69
4.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных факторов на исследователя	70
4.4.1 Акустический шум	70
4.4.2 Микроклимат	70
4.4.3 Освещение.....	70
4.4.4 Электрический ток	71
Возгорание	71
4.5 Экологическая безопасность.....	72
4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
4.7 Выводы	75
Заключение	76
Список использованных источников	77
Приложение А	78

Приложение Б	79
Приложение В.....	81
Приложение Г	84

Введение

В процессе проектировки электроэнергетической системы происходит учет всех возможных аварийных ситуаций, которые неблагоприятно воздействуют на нормальные режимы работы, приводя к нарушениям надежности снабжения и безопасной эксплуатации энергосистемы. Наиболее частыми авариями в электрических сетях – короткие замыкания. В результате их появления, система переходит в ненормальный режим, в следствии чего возникают серьезные или фатальные последствия.

Аварийные режимы работы приводят к нарушениям работы всей системы или ее локальных участков. При возникновении нарушения происходит сбой стабильного электроснабжения, что сопровождается недоотпуском электрической энергии к потребителю, ухудшением качества энергии или разрушением оборудования.

Аварии происходят по разным причинам, но чаще всего из – за дефектного оборудования, которое, в свое время, не было приведено в соответствующее, нормативным требованиям, состояния, ошибок персонала, не соблюдения правил монтажа. Для успешного устранения аварии и недопущения его лавинного развития поврежденные участки локализуют при помощи отключения ближайших выключателей. Из – за негативного влияния КЗ на оборудование, время отключения КЗ должно быть как можно меньшим, и так как оперативный персонал не может обеспечить данную скорость выключения, для решения этой проблемы прибегают к специальным, быстродействующим автоматическим устройствам – устройства релейной защиты. Такие устройства предназначены для ликвидации режима КЗ и перегрузок.

Из всего вышеперечисленного следует, что для успешной ликвидации и локализации аварий необходимо рассчитывать все электрические величины аварийных режимов, переходя от них к правильному выбору необходимого оборудования.

Описание защищаемого объекта

В данной выпускной квалификационной работе производится выбор и расчет релейной защиты линии 220 кВ ПС «Новокузнецкая» – ПС «НКАЗ-2» Кузбасской электроэнергетической системы, проведенный расчет выполнен для комплекта устройств защиты установленного на ПС Новокузнецкая.

Шины 230 кВ ПС «Новокузнецкая», присоединены к шинам 230 кВ ПС «НКАЗ-2-2» через воздушную линию (ВЛ) 220 кВ №339, которая имеет длину – 36,05 км. Расчет релейной защиты осуществляется путем компьютерного моделирования, при помощи лицензионного программного комплекса АРМ СРЗА. Все исходное электрооборудование и их параметры защищаемого объекта, а также его первой и второй периферии взяты из базы данных программного комплекса. Принципиальная схема электрических соединений района защищаемой линии представлена в приложении А рисунок А.1. Для расчетов необходимо определить объекты периферии.

Объекты первой периферии:

- 2 воздушные линии 220кВ ПС НКАЗ-2 – ПС ЗСМК, длина – 10,80 км;
- 2 воздушные линии 220 кВ ПС НКАЗ-2 – ПС Елань, длина – 9,85 км.
- Трансформаторы: АТ1 – 200 – 220/110 и АТ2 – 200 – 220/110.

Объекты второй периферии

- 2 воздушные линии 220 кВ ПС ЗСМК – ПС Евразовская, длина – 3,40 км;
- 2 воздушные линии 220 кв ПС Елань – ПС ТУГРЭС, длина – 20,03 км;

Схема для расчета в программном комплексе АРМ СРЗА приведена на рисунках 1.1 и 1.2:

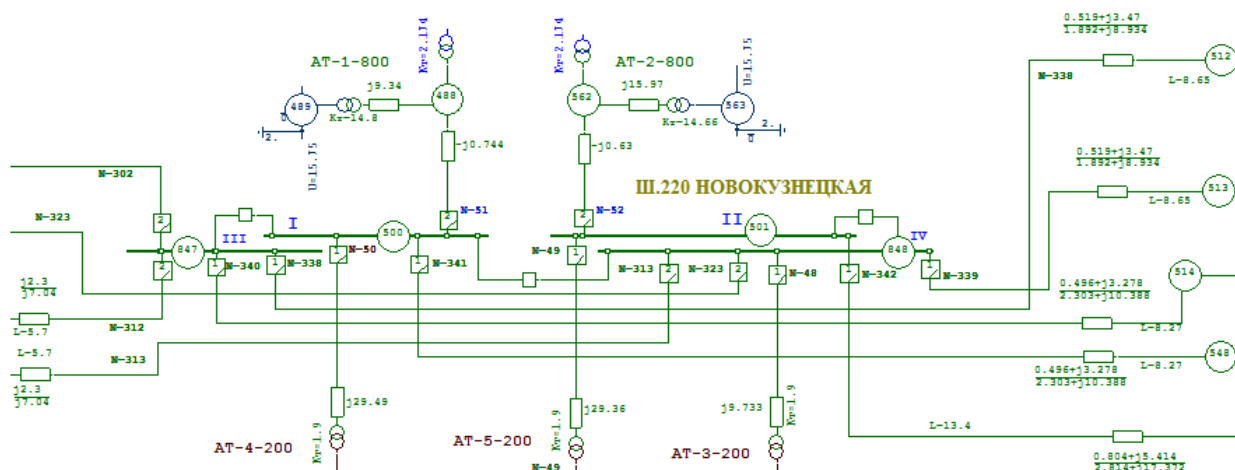


Рисунок 1.1 – Расчетная схема со стороны ПС «Новокузнецкая»

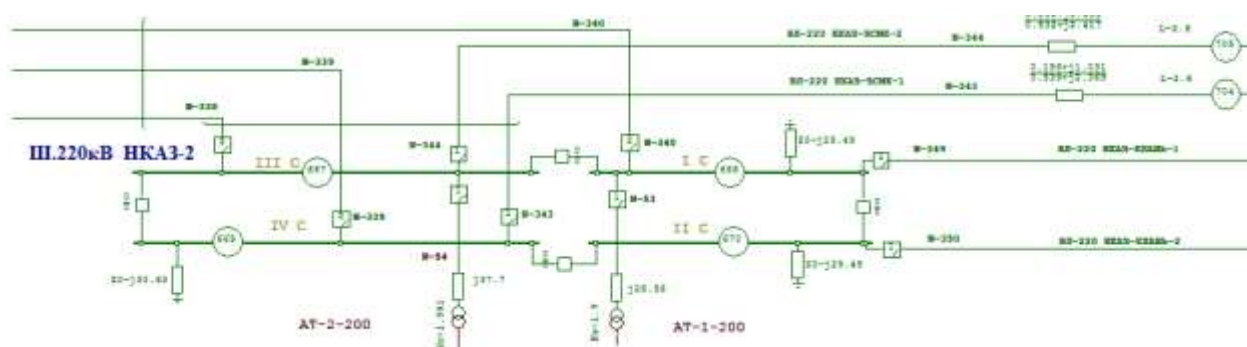


Рисунок 1.2 – Расчетная схема со стороны ПС «НКАЗ-2»

Таким образом, имея все исходные данные, после определения дополнительных параметров расчета, таких как (сопротивление, токи короткого замыкания и др.) программа проведет автоматический расчет уставок для выбранных защит. Весь расчет и выбор оборудования для противоаварийной автоматики изложен ниже в работе.

1 Аналитический обзор

1.1 Выбор и обоснование релейной защиты линии

Устройства релейной защиты (РЗА) выбираются определенным образом согласно Правилам устройств электроустановок (ПУЭ). На основании [1, 3.2.111], так как к защищаемой линии подходит необходимо применять дистанционную защиту в качестве основной или резервной защиты от многофазных коротких замыканий (КЗ). В качестве дополнительной защиты (ДЗ), пользуясь рекомендациями [1, 3.2.111], будем использовать токовую отсечку (ТО) мгновенного действия. Для защиты линий от коротких замыканий на землю необходимо предусмотреть ступенчатую токовую направленную защиту, или же – ненаправленную защиту нулевой последовательности. Таким образом, опираясь на указания ПУЭ выбираем и сводим в таблицу 1.1.1 типы защит:

Таблица 1.1.1 – устройства РЗА для защищаемого объекта

Основная защита от многофазных КЗ	Дистанционная защита (трехступенчатая)
Дополнительная защита от многофазных КЗ	Токовая отсечка
Защита нулевой последовательности	ТЗНП

1.2 Аппаратная реализация релейной защиты

В настоящий момент, вектор развития технологий направлен в сторону цифровизации каждого аспекта жизни человека. Такой же тренд имеется и в развитии аппаратного аспекта реализации релейной защиты. В России на многих подстанциях, в силу их многолетнего существования, до сих пор установлены электромеханические устройства релейной защиты. Однако, при построении новых подстанций, или модернизации старых, выбор, для аппаратной реализации РЗА, падает на микропроцессорные устройства

релейной защиты (МУРЗ). Преимущества микропроцессорных устройств, по сравнению с электромеханическими заключаются в следующем:

– Многофункциональность (помимо основной функции – аварийное отключение системы, цифровая релейная защита может: проводить измерение основных электрических величин, выполнять функцию дальнего резервирования и др.):

- точность измерений;
- компактность габаритов;
- наглядность при фиксации и настройки;
- надежность.

Так же МУРЗ имеют и свою недостатки, основными из которых являются:

- высокая стоимость оборудования;
- низкая ремонтпригодность;
- отсутствие единых регламентирующих стандартов.

Оценивая все плюсы и минусы существующих технологий, делаем выбор в сторону прогрессивного оборудования, то есть реализация проектируемой защиты будет осуществляться с помощью микропроцессорных технологий.

1.3 Выбор устройств РЗА

В качестве защиты ВЛ 220 кВ будем использовать МУРЗ фирмы ООО НПП «ЭКРА» – шкаф типа ШЭ2607 016, он применяется для защиты линии и управления выключателем с трехфазным или пофазным приводом. В шкаф входит один комплект, который включает в себя следующий функционал [2]:

- токовая направленная защита нулевой последовательности;
- дистанционная защита;
- максимальная токовая защита;
- токовая отсечка;

- автоматической разгрузки при перегрузках по току;
- автоматического повторного включения;
- устройства резервирования отказа выключателей;
- автоматики управления линейным или обходным выключателем

Основные технические параметры защиты приведены в таблице

1.3.1 [2].

Таблица 1.3.1 – основные технические параметры ШЭ 2607 016

Ток срабатывания реле тока АРПТ, А	$(0,10 \dots 2)/I_{\text{НОМ}}$
Ток срабатывания реле тока УРОВ, А	$(0,04 \dots 0,4)/I_{\text{НОМ}}$
Ток срабатывания реле тока токовой отсечки, А	$(0,35 \dots 30)/I_{\text{НОМ}}$
Ток срабатывания реле тока I – II ступеней МТЗ, А	$(0,05 \dots 30)/I_{\text{НОМ}}$
Ток срабатывания реле тока I – VI ступеней ТНЗНП, А	$(0,05 \dots 30)/I_{\text{НОМ}}$
Время срабатывания I ступени ТНЗНП, с	0,01...15
Время срабатывания II – VI ступеней ТНЗНП, с	0,05...15
Уставка по осям X и R характеристик РС I-V ступеней ДЗ, Ом	$(1 \dots 500)/I_{\text{НОМ}}$
Время срабатывания I ступени ДЗ, с	0,0...15
Время срабатывания II – III ступеней ДЗ, с	0,05...15
Время срабатывания IV – V ступеней ДЗ, с	0,0...15
Количество независимых групп уставок защит, не более	8

1.4 Выбор измерительных трансформаторов

1.4.1 Выбор трансформатора тока

Трансформаторы тока необходимы для того, чтобы защитить вторичные цепи от цепей высокого напряжения и преобразовать исходные

токи до величин, которые будут удобны для измерений измерительными приборами и реле. Трансформаторы тока выбираются согласно [3, стр 373] и имеют следующие критерии выбора:

– по току:

$$I_{норм} \leq I_{ном};$$

$$I_{max} \leq I_{ном}.$$

Недогрузка первичной обмотки может привести к появлению нежелательной погрешности, поэтому номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току линии.

– по напряжению установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}.$$

– по электродинамической стойкости:

$$i_y \leq k_{эд} \sqrt{2} I_{ном};$$

$$i_y \leq i_{дин},$$

где i_y – ударный ток короткого замыкания; $k_{эд}$ – кратность электродинамической стойкости; $I_{ном}$ – ток в первичной обмотке трансформатора номинальный; $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости.

Прибор должен быть устойчив к резким изменениям электрических величин, а точнее к токам короткого замыкания и ударному току.

– термическая стойкость:

$$B_k \leq (k_m \cdot I_{ном})^2 \cdot t_{тер};$$

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер},$$

где B_k – тепловой импульс по расчету; k_m – кратность термической стойкости по каталогу; $I_{тер}$ – ток термической стойкости; $t_{тер}$ – время термической стойкости.

Так же, во вторичных цепях, каждое оборудование оказывает сопротивлению проходящему в цепи тока, таким образом есть необходимость, для того что бы избежать не верные вычисления измерительными приборами и при этом предотвратить не верное срабатывания устройств в основной цепи, ведется проверка прибора по вторичной нагрузке:

– по вторичной нагрузке:

$$Z_{2ном} \geq Z_2,$$

где Z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока; $Z_{2ном}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Исследуем провод защищаемой линии, и определим его марку, для того чтобы получить все основные табличные величины. Опираясь на данные, приведенные в программном пакете АРМ_СРЗА сопротивление участка линии от узла №848 (шины подстанции «Новокузнецкая») до узла №512, равного по длине 8,65 километров (км), равно:

$$Z = 0,519 + j3.470 \text{ Ом};$$

Исходя из длины участка и известного сопротивления получаем погонное сопротивление линии:

$$\rho_0 = R / L = 0,519 / 8,650 = 0,06 \text{ Ом} / \text{км};$$

$$x_0 = X / L = 3,470 / 8,650 = 0,4 \text{ Ом} / \text{км}.$$

Аналогичным образом, для проверки, проводим расчет на всех участках защищаемой линии, и результаты вычислений сводим в таблицу 1.4.1.1:

Таблица 1.4.1.1 – Результаты вычислений погонного сопротивления

Узлы участка	Сопротивление, Ом	Длина участка, км	Погонное сопротивление, Ом/км
513 – 516	$0,288 + j1,926$	4,800	$0,06 + j0,40$
516 – 546	$0,810 + j5,355$	13,500	$0,06 + j0,40$
546 – 518	$0,390 + j2,578$	6,500	$0,06 + j0,40$
518 – 669	$0,156 + j1.034$	2,600	$0,06 + j0,40$

Величина погонного сопротивления на всех участках цепи составляет приблизительно одинаковое значения, окончательно принимаем величина погонного сопротивления:

$$\rho_0 = 0,06 \text{ Ом} / \text{км};$$

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом} / \text{км}.$$

Исходя из расчетных значений погонного сопротивления, по данным справочных материалов [4, табл. 7.35, стр.429] марка провода исследуемой линии: АС 500/64 с допустимым продолжительным током 945 А. По полученному току $I_{max} = 945 \text{ А}$, а также напряжению сети $U_{уст} = 230 \text{ кВ}$ выбираем трансформатор тока ТФЗМ220Б – IV по каталожным данным [4, табл.5.9, стр. 306] со следующими параметрами:

Таблица 1.4.1.2 – Параметры трансформатора тока

Тип	U _{ном} , кВ	Номинальный ток, кА		Варианты исполнения по вторичным Обмоткам	Ток стойкости, кА		Время тер, с	Нагрузка измерительной обмотки S _{2ном} , В·А
		Перв. I _{1ном}	Втор. I _{2ном}		Эл.дин. i _{дин}	Терм I _{тер}		
ТФЗМ220Б-IV	220	1000	5	0,5/10P/10P/10P	50	19.6	3	25/25/20

Проведем проверку по нагрузке приборов. Вторичная нагрузка в выбранном классе точности трансформатора, может достигать значения:

$$Z_{2ном} = 2 \text{ Ом},$$

Выясним расчетное сопротивление имеющихся устройств, которые подключены к трансформатору. Основываясь на [3, стр. 379] принимаем общее сопротивление контактов устройств равным 0,1 Ом, а сопротивление соединительных проводов (провод выполнен из меди, длиной 150 м, и сечением 1,5 мм²) [3, стр 380]:

$$r_{np} = \frac{\rho l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 100}{2,5} = 0,7 \text{ Ом}.$$

Из руководства пользования ШЭ 2607 016 [5, с.13] вторичная суммарная мощность всех приборов – $S_{2\Sigma} = 30 \text{ В} \cdot \text{А}$. Тогда нагрузка всех приборов будет составлять:

$$r_{приб} = \frac{S_{2\Sigma}}{I_{2ном}^2} = \frac{30}{25} = 1,2 \text{ Ом}.$$

Проверяем условие:

$$Z_{2ном} \geq Z_2 = r_{приб} + r_{пр} + r_k$$

$$2 \geq 2 (\text{верно}).$$

Так как условие выполняется, следовательно трансформатор будет работать в заданном классе точности.

Проведем проверку по термодинамической стойкости прибора:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 19,6^2 \cdot 3 = 1152,480 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Для дальнейшего расчета, нам понадобится провести моделирование трехфазного КЗ на шинах 220 кВ ПС Новокузнецкая, на рисунке 1.4.1.1 представлены результаты моделирования выполненного в программном комплексе АРМ_СРЗА:

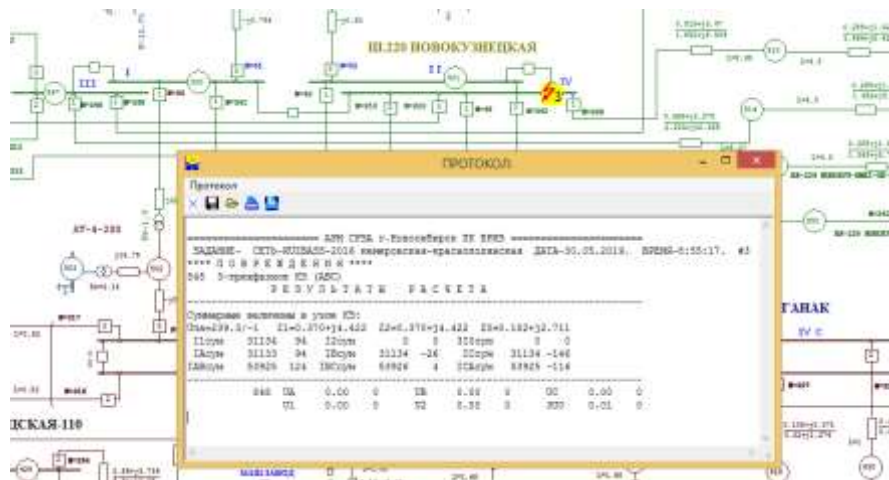


Рисунок 1.4.1.1 – результаты моделирования трехфазного КЗ.

Рассчитаем тепловой импульс [3, стр.190]:

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot t_{омк} = 31,134^2 \cdot 0,25 = 242,331 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$t_{омк} = t_{рз} + t_{омк.В} = 0,15 + 0,1 = 0,25 \text{ с};$$

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер} (\text{верно}).$$

Условие по термодинамической стойкости – выполняется. Выполним проверку на электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} = 48 \text{ кА};$$

$$i_y = k_{y0} \cdot I_{n0} = 31,334 \cdot 1,5 = 47 \text{ кА}$$

$$i_y \leq i_{дин} \text{ (верно)}$$

где k_{y0} – ударный коэффициент [6].

Таким образом, после выполнения всех проверок. Делаем вывод о том, что измерительный трансформатор тока с заданным классом точности, выбран верно, соответственно окончательно принимаемый трансформатор тока: ТФЗМ220Б – IV.

1.4.2 Выбор трансформатора напряжения

Трансформаторы напряжения по [3, стр. 382] имеют следующие категории выбора:

- по номинальному напряжению защищаемой установки:

$$U_{ном} \geq U_{уст} ;$$

- по классу точности прибора;

- по нагрузке во вторичной цепи: $S_{ном} \geq S_{2\Sigma}$.

В случае, когда нагрузка, расположенная во вторичной цепи, превышает максимально допустимую нагрузку измерительного прибора, выбранную по каталожным данным, то допускается установить второй ТН и часть нагрузки присоединить к нему. Из справочных материалов [4, табл.5.13, стр. 336] подбираем измерительный трансформатор НКФ – 110 – 83У1 со следующими данными представленными в таблице 1.4.2.1:

Таблица 1.4.2.1 – Параметры трансформатора напряжения

Тип	Номинальное напряжение обмотки			Номинальная мощность, В·А				Максимальная мощность, В·А
	Перв., кВ	Осн. втор., В	Доп., В	0,2	0,5	1	3	
НКФ-220-58Т1	220/√3	100/√3	110	-	400	500	1200	2000

Вторичная нагрузка по техническим характеристикам ШЭ 2607 016 $S_{2\Sigma} = 30 B \cdot A [5]$. Очевидно, что трансформатор проходит проверку по вторичной нагрузке, таким образом окончательный вариант измерительного трансформатора: НКФ – 110 – 83У1.

2 Расчет параметров релейной защиты

2.1 Дистанционная защита

Дистанционная защита, выполняется по ступенчатому принципу. Регулирование дистанционной защиты реализуется следующим образом:

- Первая ступень: Защита охватывает лишь часть защищаемого объекта (85%) и ее действие происходит без выдержки времени.
- Вторая ступень: Полностью контролирует защищаемую линию, и некоторую часть смежной линии. Действует с выдержкой по времени.
- Третья ступень: Выполняет функции ближнего и дальнего резервирования.

2.1.1 Расчет уставки первой ступени

Дистанционная защита контролирует изменение полного сопротивления линии. Для того чтобы отстроить первую ступень защиты, необходимо смоделировать трехфазное короткое замыкание на шинах противоположной подстанции, в конце защищаемой линии, то есть на ПС «НКАЗ-2» (узел 669). На рисунке 2.1.1.1 представлено задание для расчета уставок первой ступени в программном комплексе АРМ СРЗА:

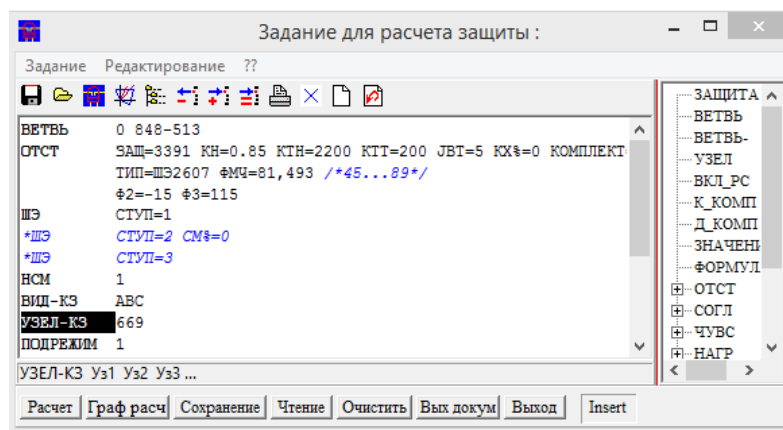


Рисунок 2.1.1.1 – Задание на расчет первой ступени в ARM_CP3A

После выполнения команды «расчет» программа выдает результат в виде протокола (рисунок 2.1.1.2):

ЭЛ	ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2	Тип	ШЗ2607	ПС	4 СШ
Защита	3391	КТТ	1000/5	Степень	1
Ветвь	848-513	КТН	2200		
Узел					

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	12.2	0.85	ВИД-КЗ АВС		ZCA=14.52 81
	RY	6.23		УЗЕЛ-КЗ 669		
	ФМЧ	81				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

Рисунок 2.1.1.2 – Протокол результатов расчета первой ступени защиты

где ЗАЩ=2671 – номер защиты складывается из номера элемента (N=339) и номера комплекта защиты (1);

КТН = 2200 – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;

КТТ = 200 – коэффициент трансформации трансформатора тока;

ЛВТ = 5 – ток на выходе трансформатора тока;

$$\Phi\text{МЧ} = \arctan\left(\frac{X_L}{R_L}\right) = \arctan\left(\frac{3,470}{0,519}\right) = 81,493^\circ - \text{угол максимальной}$$

чувствительности;

Ф2 = -15 и Ф3 = 115 – углы наклона четырехугольной характеристики первой ступени защиты. Углы (в градусах) заданы в соответствии с рекомендациями разработчиков программного комплекса.

Таким образом, уставка по сопротивлению первой ступени дистанционной защиты равна:

$$Z_{сз}^I = 6,230 + j12,200 \text{ Ом.}$$

Первая ступень выполняется без выдержки времени:

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с.}$$

Графическая характеристика реле срабатывания первой ступени на комплексной плоскости изображена на рисунке 2.1.1.3:

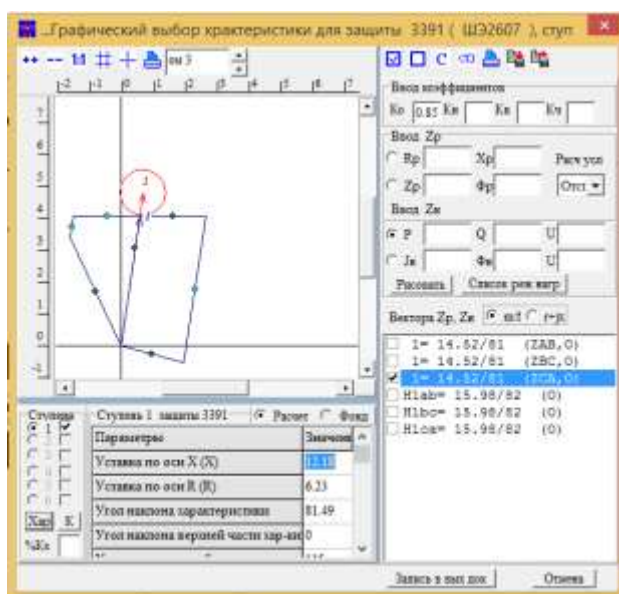


Рисунок 2.1.1.3 – Графическая характеристика первой ступени

Графическая характеристика реле ДЗ имеет форму многоугольника, который является усеченными отрезками направления мощности, исходящими из начала координат и расположенными в четвертом и во втором квадранте. Направленность характеристики определяется углами наклона этих отрезков.

При произведении выбора параметров ступени срабатывания для ДЗ, по условию отстройки, необходимо оценить расположение конца вектора замера на зажимах реле по отношению к характеристике срабатывания. В случае программного расчета, вектор 1 на зажимах реле должен будет располагаться снаружи полученного многоугольника. Это выбирается для того чтобы были покрыты все погрешности приборов и расчетов, тем самым

исключая ложное срабатывание. При проведении расчета предполагается, что вектор замера на зажимах реле срабатывания имеет вокруг своего конца зону погрешностей (в идеальном случае – окружность). Радиусом окружности является коэффициент отстройки. Полученная характеристика должна иметь лишь единственную точку пересечения с полученной окружностью, тогда ложное срабатывание защиты – исключается.

Чувствительность первой ступени ДЗ допускается не проверять [9]

2.1.2 Расчет уставки второй ступени

Сопротивления срабатывания второй ступени должно быть отстроено от коротких замыканий на шинах низшего напряжения трансформаторов отходящих от подстанций, а также согласовано с первыми ступенями смежных линий. В данном случае, на ПС «НКАЗ-2» имеется два параллельных автотрансформатора, однако их сопротивления – различны, это означает, что ступень необходимо отстраивать от обоих трансформаторов, и после согласования со всеми прилегающими линиями выбирать наименьшее из полученных значений. На рисунке 2.1.2.1 представлен пример задания для расчета уставки второй ступени от КЗ в узлу 671 АТ2 (для АТ1 все расчеты и заполнения заданий выполняется аналогично):

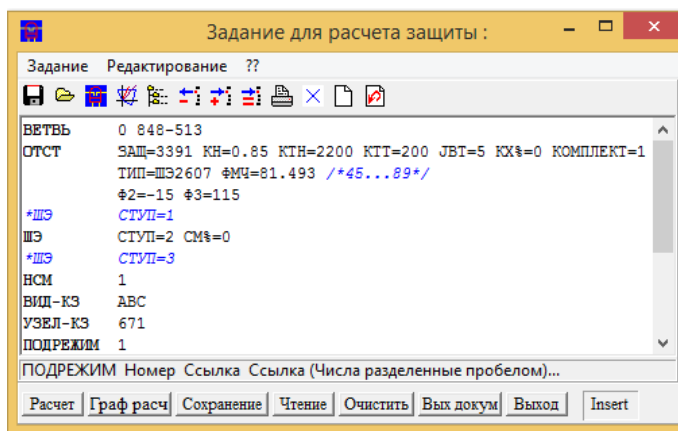


Рисунок 2.1.2.1 – задание на расчет 2 ступени ДЗ от трансформатора АТ2

Результат выдается в виде протокола (рисунок 2.1.2.2):

ЭЛ ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2			ПС 4 СШ			
Защита 3391		Тип ШЭ2607	Ступень 2			
Ветвь 848-513		КТТ 1000/5				
Узел		КТН 2200				
Расч условия	Имя	Знач	К	Повреждение	Поддержка	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	30.2	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 671		ZCA=36.65 77
	RY	15.4				
	#MЧ	81				
	#2	-15				
	#3	115				
ОТСТРОЙКА	XU	49.0	0.85	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 672		ZCA=58.08 83
	RY	25.0				
	#MЧ	81				
	#2	-15				
	#3	115				

Рисунок 2.1.2.2 – протокол результатов расчета уставки от АТ1 и АТ2

Для согласования защиты с предыдущими линиями, у всех смежных ВЛ необходимо определить уставки первых ступеней дистанционной защиты. На ПС «НКАЗ-2» имеется 4 отходящих линии:

- 2 параллельные линии 220 кВ до ПС ЗСМК;
- 2 параллельные линии 220 кВ до ПС Елань.

Параллельные линии имеют одинаковые параметры, таким образом, будет достаточно выполнить всего 2 согласования, по одному из каждой пары.

В таблице 2.1.2.1 представлены параметры линий, необходимые для расчета:

Таблица 2.1.2.1 – Расчетные параметры линии

Линия	Угол максимальной чувствительности	Длина линии, км	Погонное сопротивление, Ом/км
ПС «НКАЗ-2» – ПС ЗСМК	81,395	10,800	0,06 + j0,40
ПС «НКАЗ-2» – ПС ЕЛАНЬ	81,418	9,850	0,06 + j0,40

По погонному сопротивлению видно, что провода линий выполнены тем же самым проводом, это означает что измерительные трансформаторы тока и напряжения будут такими же, их характеристики представлены в таблице 1.4.1.2 и таблице 1.4.2.1 соответственно. Расчет первых ступеней защиты проводится аналогично расчету, представленному в параграфе 2.1.1,

все протоколы представлены в Приложении Б, а результаты расчета сведены в таблицу 2.1.2.2:

Таблица 2.1.2.2 – уставки первых ступеней смежных линий

Линия	Расчетное сопротивление первой ступени, Ом
ПС «НКАЗ-2» – ПС ЗСМК	$1,86 + j3,63$
ПС «НКАЗ-2» – ПС ЕЛАНЬ	$1,70 + j3,32$

Согласование второй ступени с первыми прилегающих линий, также выполняется автоматически при помощи программы АРМ_СРЗА. Для примера приведем согласования защит ПС «НКАЗ-2» и ПС «ЕЛАНЬ», остальные расчеты проводятся аналогичным образом. (протоколы представлены в Приложении Б). На рисунке 2.1.2.3 представлено задание на согласование, на рисунке 2.1.2.4 показан протокол результатов данного моделирования:

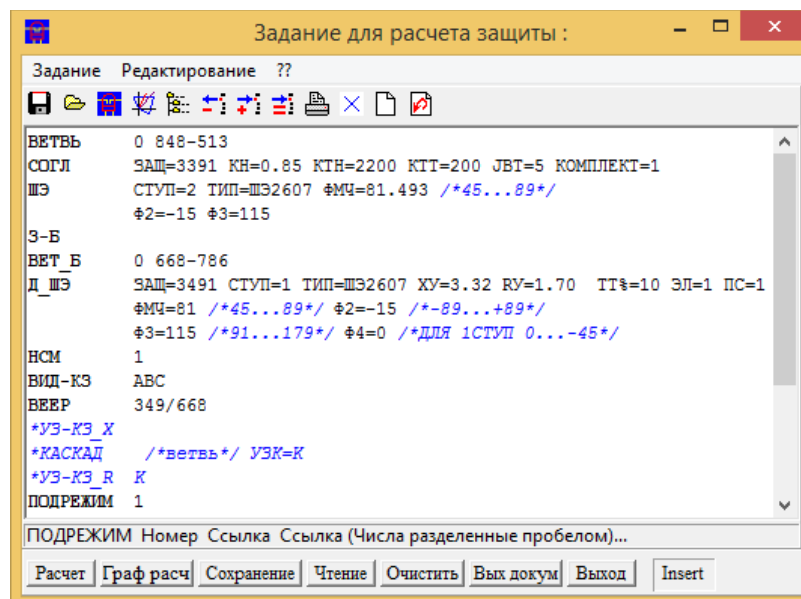


Рисунок 2.1.2.3 – Задание на согласование с защитой линии ПС «НКАЗ-2» – ПС «ЕЛАНЬ»

ЭЛ ВЛ-220 НОВОУДН-НКАЗ-2			Тип ВД2407		ПС 4 СБ	
Защита 3391			КТИ 1000/5		Ступень 2	
Ветвь 040-013			КТИ 2200			
Узел						
Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эт величина
СОГЛАСОВАНИЕ	КУ	19.7	0.85	ВЛ-КЗ АВС		ЗСА=23.49 С1
с 1 СТУПЕНЬЮ	ПУ	10.1		ВЕРР 349/668		ЗAB (B)=3.03 С1
ХЗ=9.32	ВМ	81		787-837, 0.025		
ВУ=1.70	В2	-15		(Lотн_мин=0.765)		
T=0.00	В3	115				
ВМ 81						
В2 -15						
В3 115						
В4 0						
защита 3491						
ВД2407						
(660-786)						
ЭЛ ВЛ-220 НКА						
3-ЕЛАНЬ-1						
ПС: I С НКАЗ-2						
20						
	КУ	19.7	0.85	ВЛ-КЗ АВС		ЗСА=22.58 С1
	ПУ	9.47		ВЕРР 349/668		ЗAB (B)=3.96 С1
	ВМ	81		837-816, 1.000		
	В2	-15		(Lотн_мин=1.000)		
	В3	115				

Рисунок 2.1.2.4 – Протокол результатов согласования

Для наглядного сравнения и выбора необходимой уставки, сведем все результаты в таблице 2.1.2.3:

Таблица 2.1.2.3 – результаты расчетов 2 ступени ДЗ защищаемой линии

Элемент отстройки	Уставка, Ом
АТ1	25,000 + j 49,000
АТ2	15,400 + j30,200
ВЛ ПС «НКАЗ-2» – ПС «ЗСМК»	10,400 + j20,400
ВЛ ПС «НКАЗ-2» – ПС «ЕЛАНЬ»	9,670 + j18,900

Из всех полученных условий, за искомую уставку принимаем наименьшее значение. Таким образом, уставка срабатывания второй ступени защиты выбираем из условия согласования с защитой линии ПС «НКАЗ-2» – ПС «ЕЛАНЬ»:

$$Z_{сз}^{II} = 9,670 + j18,900 \text{ Ом};$$

Время срабатывания дистанционной защиты первой ступени:

$$t_{сз}^{II} = 0.5 \text{ с.}$$

Для проверки чувствительности необходимо провести моделирование трехфазное короткое замыкание в конце защищаемой линии. На рисунке 2.1.2.5 представлено задание на определение чувствительности:

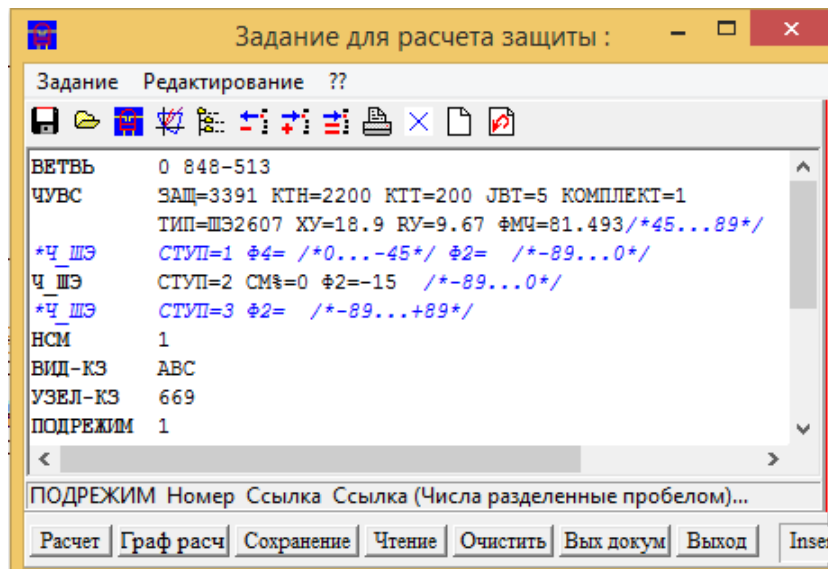


Рисунок 2.1.2.5 – Задание для проверки чувствительности 2 ступени дистанционной защиты

Протокол результатов иллюстрирован на рисунке 2.1.2.6:

ЭЛ	ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2	Тип	ШЗ2607	ПС	4 СШ
Защита	3391	КТТ	1000/5	Степень	2
Ветвь	848-513	КТН	2200		
Узел					

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	18.9	1.32	ВИД-КЗ АВС		ZAB=14.52 81
	RY	9.67	645.12	УЗЕЛ-КЗ 669		Ip=3561 -85
	фМЧ	81	KЧзр=			
	ф2	-15	1.31			
	ф3	115				
	XBT	1.72				
	RBT	0.879				
	JTP	0.50	35.61			

Рисунок 2.1.2.6 – Протокол результатов проверки чувствительности

Коэффициент чувствительности второй ступени дистанционной защиты:

$$k_u = 1,31 \geq 1,25$$

Полученный коэффициент чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям [1]. На рисунке 2.1.2.7 представлена графическая характеристика определения чувствительности:

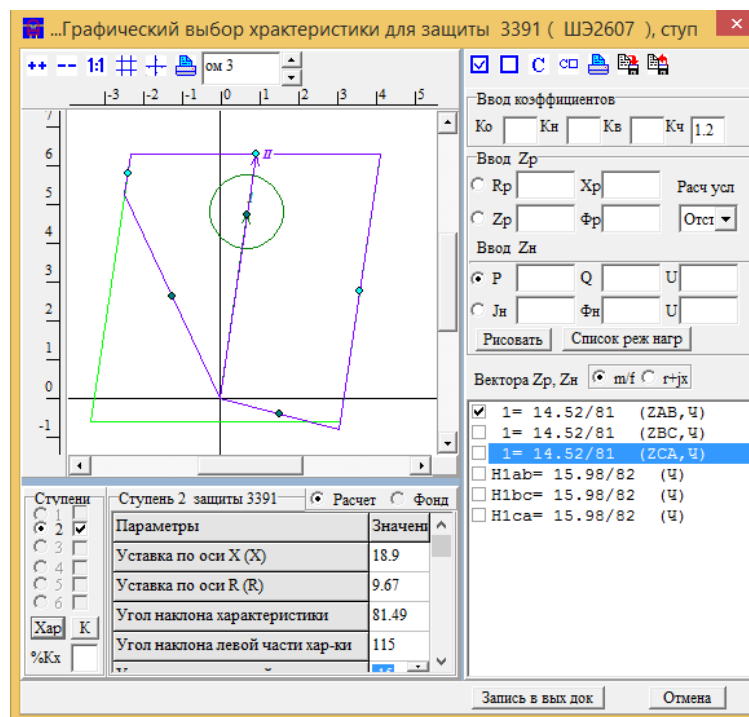


Рисунок 2.1.2.7 – Графическая характеристика срабатывания реле при определении чувствительности

2.1.3 Расчет уставки третьей ступени

Отстройка третьей ступени дистанционной защиты ведется в рабочем режиме нагрузки, от минимального сопротивления, то есть в режиме максимального эксплуатационного тока и минимального напряжения. На рисунке 2.1.3.1 представлено задание на расчет 3 ступени ДЗ в программном комплексе АРМ_СРЗА, а также итоговый протокол. Нагрузочный ток, по рекомендациям [8] может быть определен опираясь на данные, о допустимом токе провода, уменьшив его на 20 – 30 %. По справочным материалам [4] допустимый ток для провода марки АС500/64 равен 940 А, таким образом, нагрузочный ток принимаем равным:

$$I_{нагр} = 940 - 0,3 \cdot 940 = 661,5 \text{ А.}$$

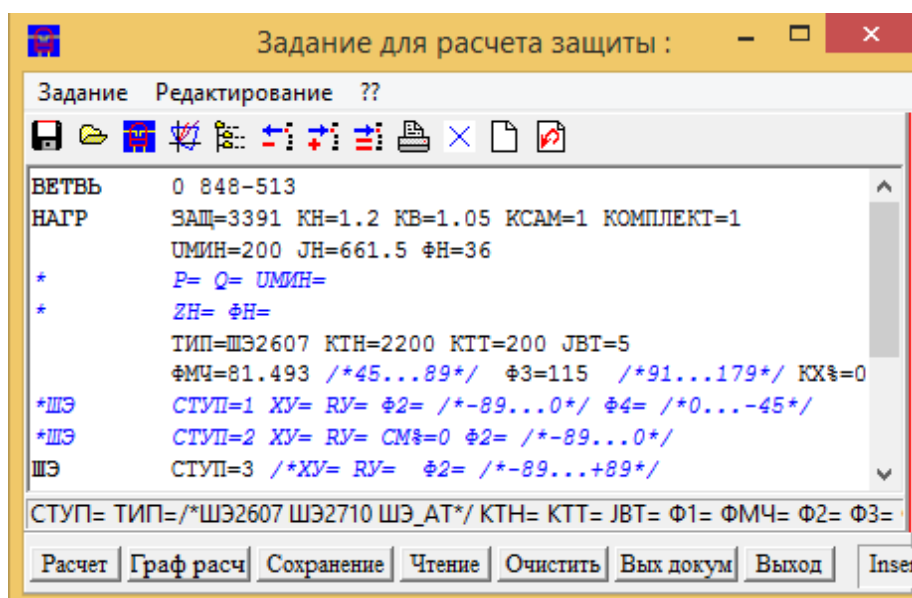


Рисунок 2.1.3.1 – задание на расчет ступени 3 дистанционной защиты

ЭЛ	ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2	Тип	ШЭ2607	ПС	4 СШ
Защита	3391	КТТ	1000/5	Степень	3
Ветвь	848-513	КТН	2200		
Узел					

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	XU	175.0	1.26		КН=1.20 КВ=1.05	ZH=174.56 36
	RV	89.5			КВРТ=1.05 JH=662	
	ФМЧ	81			УМИН=200 ФН=36	
	Ф2	-15				
	Ф3	115				

Рисунок 2.1.3.2 – Итоговый протокол расчета уставки 3 ступени ДЗ

Исходя из полученных результатов, значение уставки 3 ступени защиты:

$$Z_{сз}^{III} = 89,5 + j175 \text{ Ом}$$

Время срабатывания дистанционной защиты третьей ступени:

$$t_{сз}^{III} = t_{сз}^{II} + 0,5 = 1с$$

На рисунке 2.1.3.3 представлен графический расчет уставки срабатывания реле:

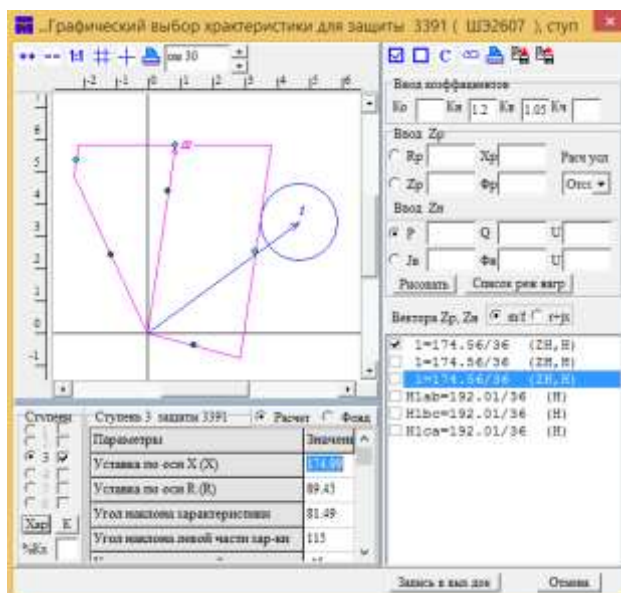


Рисунок 2.1.3.3 – Графическая характеристика срабатывания реле 3 ст ДЗ

Третья ступень дифференциальной защиты выполняет функции ближнего и дальнего резервирования, из – за этого, при расчете чувствительности защиты:

- 1) Ближнее резервирование: необходимо произвести моделирование трехфазного КЗ в конце защищаемой линии;
- 2) Дальнее резервирование: трехфазное КЗ проводится в конце смежных линий и за трансформаторами, и выбрать наименьшее значение

На рисунке 2.1.3.4 указано задание при расчете чувствительности срабатывания реле третьей ступени ДЗ:

ВЕТВЬ	0 848-513
ЧУВС	ЗАЩ=3391 КТН=2200 КТТ=200 JBT=5 КОМПЛЕКТ=1
	ТИП=ШЗ2607 КУ=175 РУ=89.5 ФМУ=81.493/*45...89*/ Ф3=115
*Ч_ШЭ	СТУП=1 Ф4= /*0...-45*/ Ф2= /*-89...0*/
Ч_ШЭ	СТУП=2 СМ3=0 Ф2= /-89...0*/
Ч_ШЭ	СТУП=3 Ф2=-15 /*-89...+89*/
НСМ	1
ВИД-КЗ	ABC
УЗЕЛ-КЗ	691
ПОДРЕЖИМ	1

ПОДРЕЖИМ Номер Ссылка Ссылка (Числа разделенные пробелом)...

Расчет Граф расч Сохранение Чтение Очистить Вых докум Выход Insert

Рисунок 2.1.3.4 – Задание на расчет чувствительности в режиме ближнего резервирования

После расчета анализируем итоговый протокол о выполнении задания (рис 2.1.3.5):

ЭЛ	БЛ-220	НОВОКУЗН-НКАЗ-2	ПС	4	СШ	
Защита	3391		Тип	ШЭ2607	Степень	3
Ветвь	848-513		КТТ	1000/5		
Узел			КТН	2200		

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	175.0	12.18	ВИД-КЗ АВС		Зав=14.52 81
	RV	89.5	5970.8	УЗЕЛ-КЗ 669		Ip=3561 -85
	ФМЧ	81	7			
	Ф2	-15	KЧзр=			
	Ф3	115	1.55			
	XBT	15.9				
	RBT	8.14				
	JTP	0.50				
			35.61			

Рисунок 2.1.3.5 – Итоговый протокол при оценке чувствительности в ближнем резервировании

В результате, коэффициент чувствительности в ближнем резервировании:

$$k_{\chi} = 1,55 \geq 1,5$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям [1].

Аналогичным образом была оценена чувствительность третьей ступени в режиме дальнего резервирования. Наименьшая чувствительность, была получена при коротком замыкании за трансформатором АТ1, на рисунке 2.1.3.6 и 2.1.3.7 показан ход расчета чувствительности за трансформатором (аналогичные расчеты в режиме дальнего резервирования сведены в Приложении Б):

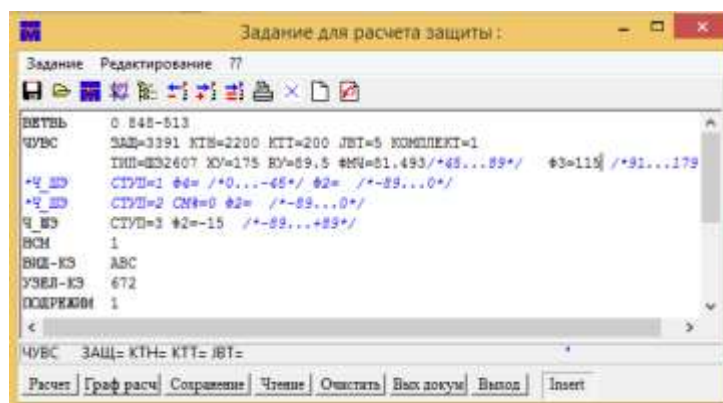


Рисунок 2.1.3.7 – Задание для оценки чувствительности в режиме дальнего резервирования за трансформатором АТ1

ЭЛ ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2
 Защита 3391
 Ветвь 848-513
 Узел

Тип ШЭ2607
 КТТ 1000/5
 КТН 2200

ПС 4 СШ
 Ступень 3

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	175.0	3.03	ВИД-КЗ ABC		ZBC=58.08 83
	KY	89.5	44.22	УЗЕЛ-КЗ 672		Ip=1567 154
	ФМУ	81	КУзр=			
	φ2	-15	1.52			
	φ3	115				
	XBT	15.9				
	RBT	8.14				
	JTP	0.50	15.67			

Рисунок 2.1.3.8 – Итоговый протокол при оценке чувствительности за трансформатор АТ1

Минимальный коэффициент чувствительности третьей ступени дистанционной защиты в режиме дальнего резервирования:

$$k_{\chi} = 1,52 \geq 1,2$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям [1]. На рисунках 2.1.3.9 и 2.1.3.10 иллюстрированы графические характеристики срабатывания реле в ближнем и дальнем резервировании соответственно:

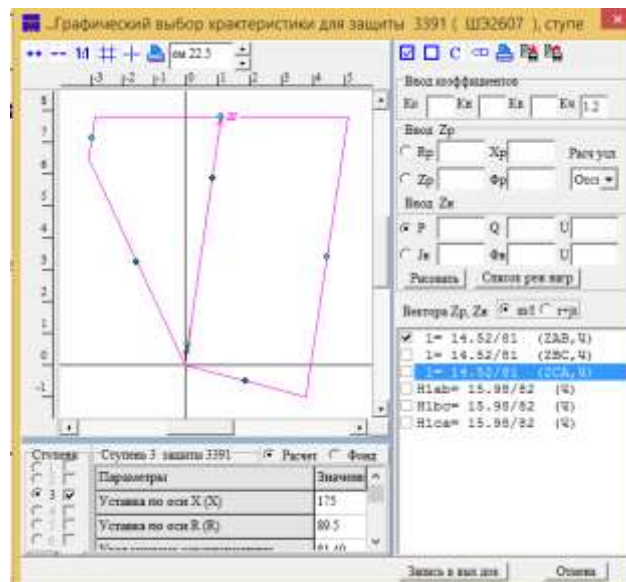


Рисунок 2.1.3.9 – Графическая характеристика при оценке ближнего резервирования

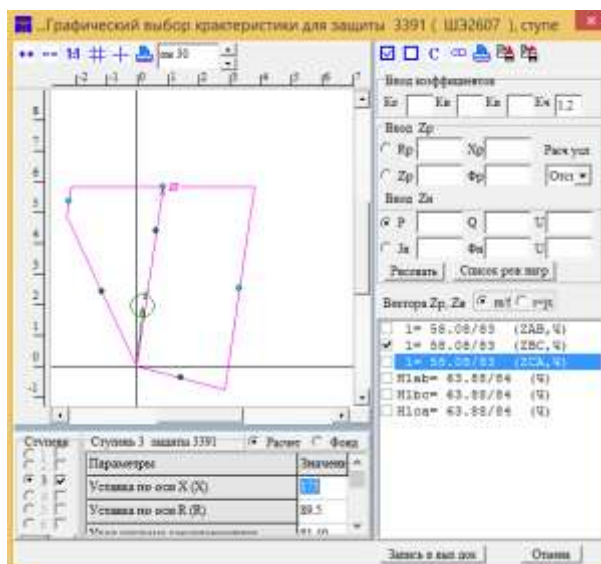


Рисунок 2.1.3.10 – Графическая характеристика при оценке в режиме дальнего резервирования

Составляем итоговую таблицу, в которой показаны значения сопротивлений срабатывания каждой из ступеней дистанционной защиты (табл 2.1.3.1).

Таблица 2.1.3.1 – Параметры дистанционной защиты

Номер ступени	Сопротивление срабатывания	Выдержка времени
	$Z_{сз}, \text{Ом}$	$T, \text{с}$
I	$6,230 + j12,200$	0
II	$9,670 + j18,900$	0,5
III	$89,500 + j175,000$	1

2.2 Токовая защита нулевой последовательности

Большая часть повреждений в сетях с эффективно заземленной нейтралью приходится на короткие замыкания на землю, в следствии этого факта, требуются применять устройства, которые будут реагировать на нулевую последовательность токов КЗ. К проектируемой линии по рекомендациям [1] будем применять в качестве защиты – токовую ступенчатую защиту нулевой последовательности (ТСЗНП). ТСЗНП реагирует, при возникновении КЗ на появление тока в нулевой

последовательности, который равен утроенному фазному току. Чаще всего, выбранная защита состоит из трех – четырех ступеней:

- первая ступень: мгновенная токовая отсечка предназначенная для быстрого отключения короткого замыкания на начальных участках линии (80%);
- вторая ступень надежно охватывает защищаемую линию. Вторую ступень необходимо согласовывать с первыми ступенями линий первой периферии и отстроена от однофазного КЗ за трансформаторами;
- третья ступень, выбирается из условия согласования со второй ступенью прилежащих линий или первой ступенью защиты пр кз на землю за трансформаторами на противоположной подстанции;
- четвертая ступень выполняет функцию резервирования, при отстройке от токов небаланса в нулевом токе ТТ. При трехфазных коротких замыканиях на стороне низшего напряжения трансформаторов.

2.2.1 Расчет первой ступени

Первая ступень отстраивается от максимально возможного тока нулевой последовательности при КЗ на шайнах в конце защищаемой линии. На рисунке 2.2.1.1 показано задание для расчета первой ступени:

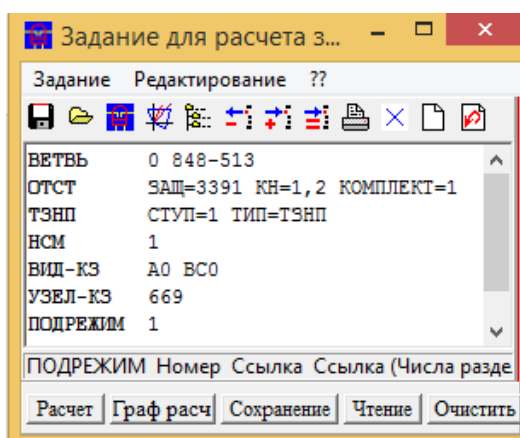


Рисунок 2.2.1.1 – задание для расчета первой ступени ТСЗНП

Итоговым результатом в данной модуле также является протокол (рис 2.2.1.2):

ЭЛ	ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2	Тип	ТЭНП	ПС	4 СШ
Защита	3391	КТТ		Степень	1
Ветвь	848-513	КТН			
Узел					

<u>Расч условие</u>	<u>Имя</u>	<u>Знач</u>	<u>К</u>	<u>Повреждение</u>	<u>Подрежим</u>	<u>Эл величины</u>
ОТСТРОЙКА	УСТ	1294	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 669		3I0=1078 -74 3U0=10.87 -167
	УСТ	1441	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 669		3I0=1201 107 3U0=12.10 14

Рисунок 2.2.1.2 – итоговый протокол расчета 1 ступени ТСЗНП

В результате моделирующего расчета, уставка для срабатывания первой ступени токовой защиты нулевой последовательности (выбираем наибольшее значение):

$$I_{сз}^I = 1441 \text{ А.}$$

Время срабатывания первой ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с.}$$

Чувствительность для первых ступеней токовых ступенчатых защиты допускается не проверять согласно [9].

2.2.2 Расчет уставки второй ступени

Для определения уставки срабатывания второй ступени необходимо провести согласование с первыми ступенями защит линий первой периферии, в связи с этим определим уставки первых ступеней у смежных линий. Расчет производится аналогично параграфу 2.2.1, все рассчитанные уставки (выбраны наибольшие значения) сведены в таблицу 2.2.2.1 (расчетные протоколы представлены в Приложении В):

Таблица 2.2.2.1 – уставки первых ступеней защит ТСЗНП предыдущих линий

Линия	Уставка, А
ПС «НКАЗ» – ПС «ЗСМК-1»	5252
ПС «НКАЗ» – ПС «ЗСМК-2»	5188
ПС «НКАЗ» – ПС «ЕЛАНЬ-1»	6874
ПС «НКАЗ» – ПС «ЕЛАНЬ-2»	6869

Проведем согласование второй ступени защиты с каждой линией. Так как все выполняемые действия аналогичны друг другу, в пример приведем необходимое согласование (наибольшая уставка) (все протоколы согласования линий приведены в Приложении В). На рисунке 2.2.2.1 представлено задание для согласования с линией ПС «НКАЗ» – ПС «ЗСМК-1», на рисунке 2.2.2.2 представлен протокол результатов:

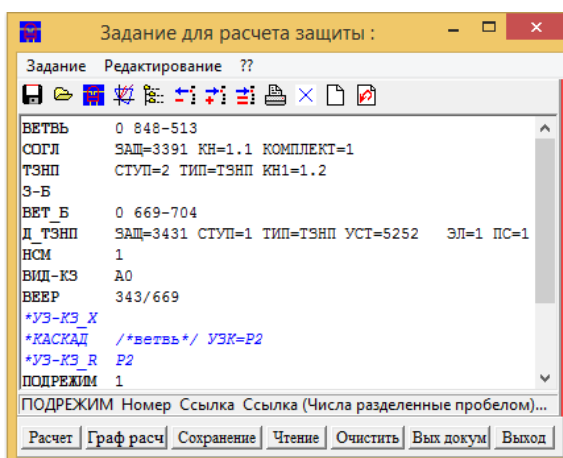


Рисунок 2.2.2.1 – задание на согласование второй ступени защиты с первой ступенью линии ПС «НКАЗ» – ПС «ЗСМК-1»

ЭЛ	ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2	ПС	4 СШ
Защита	3391	Тип	ТЗНП
Ветвь	848-513	КТИ	Ступень 2
Узел		КТН	

<u>Расч условие</u>	<u>Имя</u>	<u>Знач</u>	<u>К</u>	<u>Повреждение</u>	<u>Подрежим</u>	<u>Эл величины</u>
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ 5252 T=0.00 <u>защита 3431</u> ТЗНП (669-704) <u>ЭЛ:ВЛ-220 НКА</u> <u>З-ЗСМК-1</u> <u>ПС:IV С НКАЗ</u> <u>-220</u>	УСТ	643	1.10	ВИД-КЗ А0 ВЕЕР 343/669 691-706,0.220 (<u>Лотн лин=0.916</u>)		3I0=584 -72 3U0=5.02 -165 3I0(B)=5252 -83 3U0(B)=41.79 -176

Рисунок 2.2.2.2 – протокол результатов согласования

В качестве уставки второй ступени, выбираем максимальное из рассчитанных токов:

$$I_{сз}^{II} = 545 \text{ А}$$

Время срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности выбирается на шаг селективности выше первой ступени. Шаг селективности принимаем равным 0,5 с:

$$t_{сз}^{II} = t_{сз}^I + \Delta t = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с.}$$

При определении чувствительности второй ступени определяется ток однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии. Для проверки условия чувствительности создаем задание в программном комплексе АРМ_СРЗА (рис 2.2.2.3):

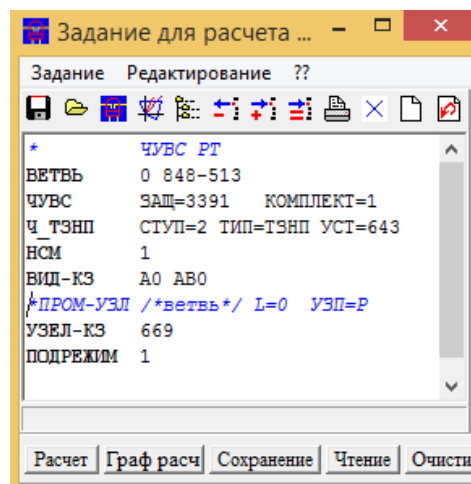


Рисунок 2.2.2.3 – задание для определения коэффициента чувствительности 2 ступени

В результате, получаем ответ в виде протокола (рис 2.2.2.4):

ЭЛ ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2				ПС 4 СШ		
Защита 3391		Тип ТЭНП		Ступень 2		
Ветвь 848-513		КТТ				
Узел		КТН				
<u>Расч условие</u>	<u>Имя</u>	<u>Знач</u>	<u>К</u>	<u>Повреждение</u>	<u>Подрежим</u>	<u>Эл величины</u>
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	643	1.68	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 669		ЗИ0=1078 -74 ЗУ0=10.87 -167
	УСТ	643	1.87	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 669		ЗИ0=1201 -133 ЗУ0=12.10 134

Рисунок 2.2.2.4 – протокол результатов определения коэффициента чувствительности

Коэффициент чувствительности (наименьшее значение) второй ступени токовой защиты нулевой последовательности:

$$k_{\chi} = 1,68 \geq 1,5$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям [1]. Следовательно, нет необходимости использовать третью ступень [9].

2.2.3 Расчет уставки четвертой ступени

Четвертая ступень будет отстраиваться от токов небаланса в нулевом проводе ТТ при максимально допустимом токе. Максимально допустимый нагрузочный формируется аналогично параграфу 2.1.3 и равен значению 661,5 А, то есть задание для расчета четвертой ступени ТСЗНП формируется следующим образом (рисунок 2.2.3.1):

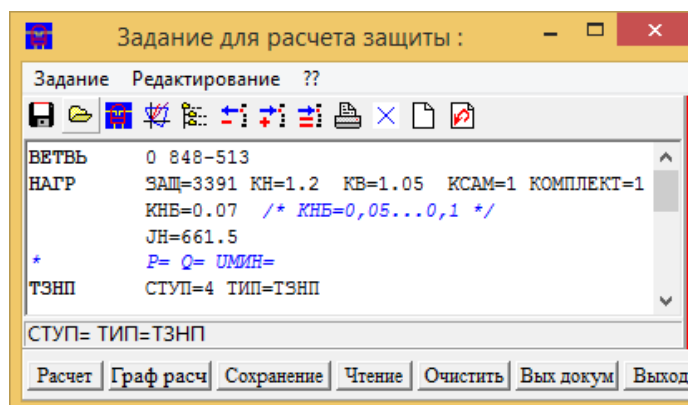


Рисунок 2.2.3.1 – задание на определение уставки четвертой ступени ТСЗНП

В результате расчета получаем следующие величины (рис 2.2.3.2):

ЭЛ ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2				ПС 4 СШ		
Защита 3391		Тип	ТЭНП	Ступень 4		
Ветвь 848-513		КТТ				
Узел		КТН				
<u>Расч условие</u>	<u>Имя</u>	<u>Знач</u>	<u>К</u>	<u>Повреждение</u>	<u>Подрежим</u>	<u>Эл величины</u>
НАГРУЗКА	УСТ	53			КН=1.20 КВ=1.05 КВРТ=1.05 КНБ=0.07 JH=662	

Рисунок 2.2.3.2 – Результат моделирования задания на определение уставки четвертой ступени

Согласно ПУЭ, минимально возможное значение – 60 А. Рассчитанное значение получилось меньше минимально возможного, таким образом, принимаем за уставку четвертой ступени защиты ТСЗНП:

$$I_{сз}^{IV} = 60 \text{ А.}$$

Для селективной работы ступени вводится задержка по времени, которая отличается от второй ступени на шаг селективности (0,5 с):

$$t_{сз}^{IV} = t_{сз}^{II} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с.}$$

Рассчитываемая ступень выполняет функции ближнего и дальнего резервирования. Чувствительность ступени проверяется по однофазному КЗ в конце смежных линий [9], а также от коротких замыканий за трансформаторами первой периферии. Все расчеты по проверке и определению коэффициента чувствительности выполняются аналогично друг другу, в качестве примера расчета приведем лишь необходимое моделирование: короткое замыкание за трансформатором АТ1, остальные протоколы результатов моделирования представлены в Приложении В. На рисунках 2.2.3.3 и 2.2.3.4 представлены задание в модуле для определения коэффициента чувствительности четвертой ступени и протокол результата соответственно:

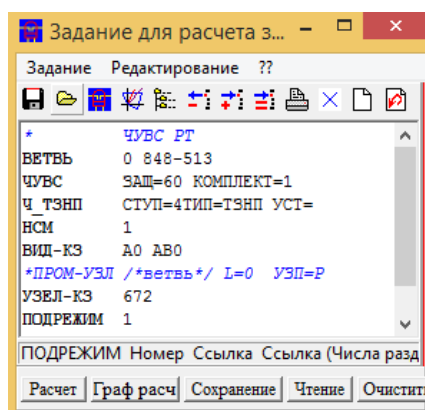


Рисунок 2.2.3.3 – задание на определение коэффициента чувствительности четвертой ступени

ЭЛ ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2
 Защита 3391
 Ветвь 848-513
 Узел

Тип ТЭНП
 КТТ
 КТН

ПС 4 СШ
 Ступень 4

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Попрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	60	5.06	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 672		3I0=304 -74 3U0=3.04 -168
	УСТ	60	5.31	ВИД-КЗ АВ0 УЗЕЛ-КЗ 672		3I0=318 -135 3U0=3.19 132

Рисунок 2.2.3.4 – итоговый протокол результатов определения чувствительности четвертой ступени

Коэффициент чувствительности четвертой ступени (наименьшее расчетное значение):

$$k_u = 5,06 \geq 1,2$$

Полученное значение коэффициента чувствительности удовлетворяет предъявляемым требованиям [1].

В таблице 2.2.3.1 показаны значения токов срабатывания и уставки по времени каждой из ступеней ТСЗНП:

Таблица 2.2.3.1 – итоговая таблица уставок ТСЗНП

Номер ступени	Ток срабатывания	Выдержка времени
	I _{сз} , А	T, с
I	1441	0
II	643	0,5
IV	60	1

2.3 Токовая отсечка

Токовая отсечка – это мгновенная защита с ограниченной зоной действия. Выполняется без выдержки времени в качестве дополнительной защиты. Уставка на срабатывание отстраивается от трехфазного КЗ в конце защищаемой линии.

2.3.1 Расчет уставки ТО

Для определение тока срабатывания будем моделировать короткое замыкание в конце защищаемой линии, то есть на шинах подстанции «НКАЗ - 2».

На рисунке 2.3.1.1 представлен модуль задания на определение уставки ТО:
ТО:

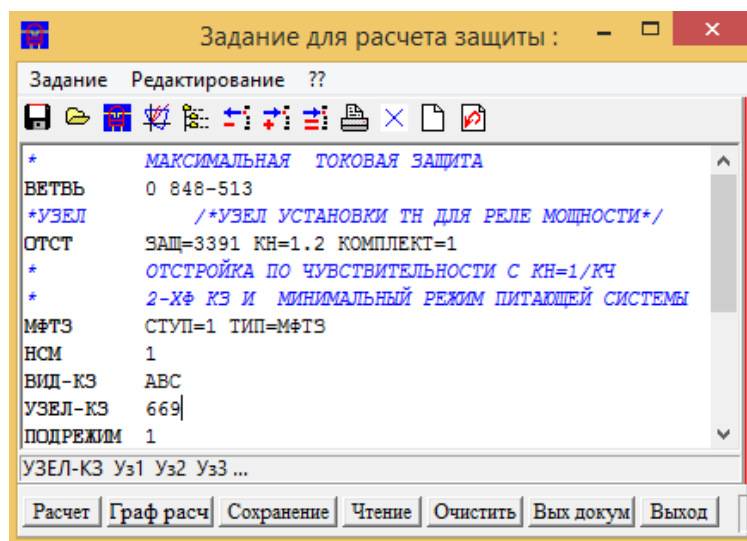


Рисунок 2.3.1.1 – задание для определения уставки ТО

В результате получаем значения (рис 2.3.1.2):

ЭЛ	ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2	Тип	МФТЗ	ПС	4 СШ
Защита	3391	Тип	КТТ	Степень	1
Ветвь	848-513	КТТ	КТН		
Узел		КТН			

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	4935	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 669		IB=4112 155

Рисунок 2.3.1.2 – протокол результата определения уставки ТО

Ток срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$I_{сз}^I = 2561 \text{ А}$$

Время срабатывания первой ступени токовой ступенчатой защиты:

$$t_{сз}^I = 0 \text{ с}$$

При определении чувствительности токовой отсечки проводится двухфазное короткое замыкание в начале защищаемой линии. На рисунках 2.3.1.3 и 2.3.1.4 представлены задание на определение коэффициента чувствительности ТО и результаты его выполнения:

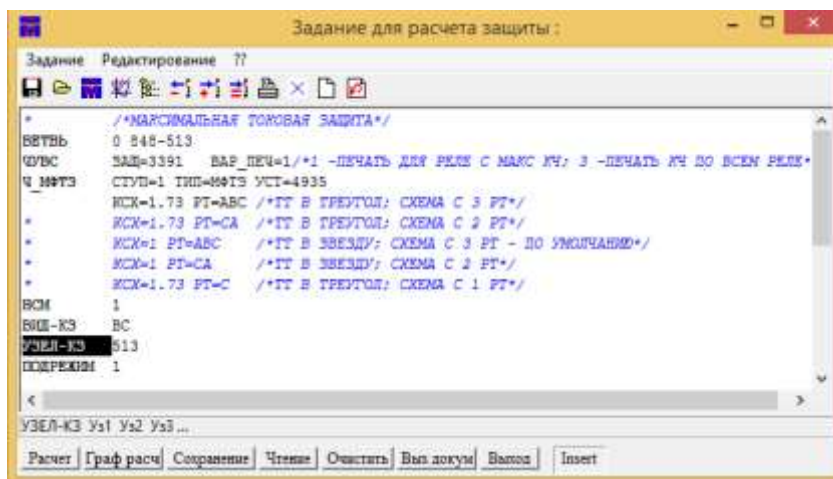


Рисунок 2.3.1.3 – задание на определение коэффициента чувствительности ТО

ЭЛ ВЛ-220 НОВОКУЗН-НКАЗ-2

ПС 4 СШ

Защита 3391

Тип МФТЗ

Степень 1

Ветвь 848-513

КТИ

Узел

КТН

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	4935	3.07	ВИД-КЗ ВС		IB=13056 -176
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 513		Ir=26172 -175
	РТ	АВС				

Рисунок 2.3.1.4 – протокол результатов определения чувствительности ТО

$$k_q = 3,07.$$

2.4 Результаты расчетов

Защищаемая линия ПС «Новокузнецка» – ПС «НКАЗ-2» содержит защиты и уставки (табл 2.4.1):

– дистанционная защита, с уставками:

I ступени: $Z_{сз}^I = 6,230 + j12,200$ Ом; $t_{сз}^I = 0$ с;

II ступени: $Z_{сз}^{II} = 9,670 + j18,900$ Ом; $t_{сз}^{II} = 0.5$ с;

III ступени: $Z_{сз}^{III} = 89,500 + j175,000$ Ом; $t_{сз}^{III} = 1$ с.

– токовая ступенчатая защита нулевой последовательности:

I ступени: $I_{сз}^I = 1441$ А; $t_{сз}^I = 0$ с;

II ступени: $I_{сз}^{II} = 643 \text{ A}$; $t_{сз}^{II} = 0.5 \text{ с}$;

IV ступени: $I_{сз}^{IV} = 60 \text{ A}$; $t_{сз}^{III} = 1 \text{ с}$;

– токовая отсечка:

$I_{сз}^I = 2561 \text{ A}$; $t_{сз}^I = 0 \text{ с}$.

Спроектированные защиты отвечают всем требованиям, по обеспечению надежности энергосистемы.

Выводы

В результате работы был произведен выбор и расчет релейной защиты линии 220 кВ ПС «Новокузнецкая» – ПС «НКАЗ» Кузбасской энергосистемы. Аппаратная часть устройств РЗА выполнена на основе микропроцессорных устройств.

Основной защитой линии от междуфазных коротких замыканий является – ступенчатая дистанционная защита, от коротких замыканий на землю была выбрана токовая ступенчатая защита нулевой последовательности, и в качестве дополнительной защиты – токовая отсечка. Все защиты входят в один комплект шкафа (приложение Г) ШЭ 2607 016.

Все рассчитанные типы защит удовлетворяют нормативным требованиям надежности энергосистемы.

3 Финансовый менеджмент

Целью финансового менеджмента является оценка проектируемой модели в рамках работы «Релейная защита линии 220 кВ ПС «Новокузнецкая» – ПС «Новокузнецкий алюминиевый завод-2-2» Кузбасской электроэнергетической системы с точки финансового менеджмента и ресурсоэффективности. Для решения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) QuaD – анализ выполняемого проекта
- 2) планирование необходимых работ и времени их выполнения;
- 3) оценка количества затрачиваемых средств на проект.

3.1 Анализ конкурентоспособности технического решения

Так как на данный момент, не ведется новых разработок и исследований устройств РЗА на основе электромеханических и полупроводниковых технологий, в силу того, что эти технологии устарели, то спрос на устройства данного класса будет неизменно возрастать, в обозримом будущем, и эти устройства будут являться безальтернативным вариантом, даже несмотря на их очевидные недостатки. Для анализа перспективности выполняемого проекта воспользуемся технологией технологии Quad. Общий вес критериев оценивания примем равным единицы. В таблице 3.1.1 представлены значения для оценивания расчетных результатов:

Таблица 3.1.1 – Значения для оценки результатов

Средневзвешенный показатель	Перспектива
0 – 0,19	Перспективность крайне низкая
0,2 – 0,39	Перспективность ниже среднего
0,4 – 0,59	Перспективность средняя
0,6 – 0,79	Перспективность выше среднего
0,8 – 1	Перспективная разработка

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot B_i$$

Где $П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности устройства;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i – го показателя.

Значение $П_{ср}$ показывает перспективность и качество разработки и является окончательной оценкой оборудования по технологии Quad. В таблице 3.1.2 приведена оценочная карта оборудования:

Таблица 3.1.2 – Оценочная карта для Quad-анализа проекта

Критерий оценки	Вес	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества					
Краткость изложения	0,100	85	100	0,850	0,085
Рациональность расчетов	0,100	90	100	0,900	0,090
Логические обоснования	0,020	80	100	0,800	0,016
Возможность применения к реальной ситуации	0,100	100	100	1,000	0,100
Соответствие нормам и правилам	0,050	90	100	0,900	0,045
Раскрытие темы	0,200	80	100	0,800	0,160
Гибкость	0,100	70	100	0,700	0,070
Организация рабочего времени	0,030	80	100	0,800	0,024
Разносторонность методов решения	0,100	20	100	0,200	0,020
Литературная база	0,050	100	100	1,000	0,050
Показатели оценки коммерческого потенциала					
Конкурентоспособность	0,050	70	100	0,700	0,035
Себестоимость	0,100	40	100	0,400	0,040
Срок выполнения	0,100	80	100	0,800	0,080
Итого	1				0,815

По результатам QuaD – анализа делаем вывод, что самой слабой стороной проекта является его разносторонность в методах решения. Это связано с однозначностью существующих подходов к решению. Сильной стороной проекта является раскрытие выбранной темы. Средневзвешенное значения показателя перспективности принимает значение 0,815, что говорит о наивысшей перспективности предложенного проекта.

3.2 Планирование разработки проекта

Планирование разработки проекта – этап, необходимый для рациональной его организации. Планирование совокупности предполагаемых работ осуществляется в следующей последовательности:

- формирование структуры работ в рамках проекта;
- утверждение участников работ каждого типа;
- определение продолжительности предполагаемых работ;
- формирование графика проведения работ.

Для реализации проекта устанавливается группа исполнителей: руководитель проекта и инженер. Каждому виду запланированных работ соотносится должность исполнителя.

В таблице 3.2.1 представлен перечень этапов, работ и распределение исполнителей в рамках выполнения проекта.

Таблица 3.2.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№	Содержание работ	Исполнитель
1	Формирование технического задания и его утверждение	Р
2	Обсуждение основных положений проекта	Р, И
3	Календарное планирование проекта	Р
4	Подбор материалов по теме проекта	И
5	Анализ данных энергорайона	И
6	Предварительный выбор устройств РЗА	Р, И
7	Расчет параметров срабатывания уставок	И
8	Оценка эффективности защиты	И
9	Расчет дополнительных частей ВКР	И
10	Построение принципиальной схемы	Р, И
11	Подведение итогов ВКР	И
12	Согласование ВКР	Р, И

Продолжение таблицы 3.2.1

13	Дополнительные консультации	Р, И
14	Оформление пояснительной записки по НТИ в соответствии с СТО ТПУ	И

3.3 Установление трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости работ каждого из участников проекта является необходимым по причине того, что трудовые затраты, в большинстве случаев, составляют значительную часть стоимости разработки проекта.

Опытно – статистический способ расчета продолжительности этапов работ может реализовываться двумя способами:

1. аналоговый;
2. экспертный.

В связи с тем, что трудоемкость выполнения работ зависит от ряда трудно учитываемых факторов, данный показатель носит вероятностный характер. Оценка вероятностного показателя трудоемкости производится экспертным путем в человеко-днях, так как аналоговый способ требует для своей реализации наличие в поле зрения исполнителя проекта не устаревшего аналога, то есть фрагмента или в целом идентичной работы.

Определение ожидаемого или среднего значения трудоемкости производится по формуле, приведенной ниже:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Показатель ожидаемой трудоемкости выполнения работы позволяет определить продолжительность данной работы в рабочих днях (T_p):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.3.1 Разработка графика выполнения проекта

В связи с тем, что тема проекта имеет сравнительно небольшой объем, наиболее удобным и при этом наглядным способом иллюстрации графика работ представляется диаграмма Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме исследования представляются протяженными во времени отрезками, ограниченными датами начала и окончания выполнения работ.

Для получения наглядного графика, длительность этапов работ переводим из рабочих дней в календарные дни в соответствии с формулой, представленной ниже:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Для определения коэффициента календарности используем следующую формулу:

$$k_{\text{кал}} = \frac{k_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляем до целого числа.

Принцип выполнения расчета проиллюстрируем на примере. Рассмотрим работу «Расчет параметров срабатывания релейных защит» для инженера и работу «Проверка завершённой работы» для руководителя. Для упрощения расчета рабочие и календарные дни будем округлять до больших целочисленных значений

1) Для руководителя:

а) ожидаемая трудоемкость выполнения работы (формирование тз):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. - дн.};$$

б) продолжительность работы:

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{1,4}{1} \approx 2 \text{ дня};$$

в) коэффициент календарности (6-ти дневная рабочая неделя):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22;$$

г) продолжительность работы в календарных днях:

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,22 \approx 3 \text{ дня}.$$

2) Для инженера:

а) ожидаемая трудоемкость выполнения работы (подбор и анализ литературы по теме проекта):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ чел. - дн.};$$

б) продолжительность работы:

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{5,8}{1} \approx 6 \text{ дней};$$

В таблице 3.3.1.1 приведены временные показатели выполнения проекта исполнителями:

Таблица 3.3.1.1 – Временные показатели выполнения проекта

Название Работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{Ki}	
	t_{min} , человеко- дни		t_{max} , человеко- дни		$t_{ожi}$, человеко- дни					
	Рук	Инж	Рук	Инж	Рук	Инж	Рук	Инж	Рук	Инж
Формирование технического задания и его утверждение	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0
Обсуждение основных положений проекта	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Календарное планирование проекта	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0
Подбор и анализ материалов по теме проекта	0	5	0	7	0	5,8	0	6	0	8
Анализ данных энергорайона	0	5	0	7	0	5,8	0	6	0	8
Предварительный выбор устройств РЗА	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Расчет параметров срабатывагия уставок	0	15	0	30	0	21	0	21	0	26
Оценка эффективности защиты	0	6	0	12	0	8,4	0	9	0	11
Расчет дополнительных частей ВКР	0	8	0	16	0	11,2	0	12	0	15
Построение принципиальной схемы	1	2	1	3	1	2,4	1	3	2	4
Подведение итогов ВКР	0	1	0	3	0	1,8	0	2	0	3
Согласование ВКР	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Оформление пояснительной записки	0	4	0	7	0	5,2	0	6	0	8
Дополнительные консультаций	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Итого	7	50	7	89	7	65,6	7	69	14	91

На основании результатов расчетов приведенных в таблице 4 выполняем построение графика Ганта (рисунок 3.3.1.1).

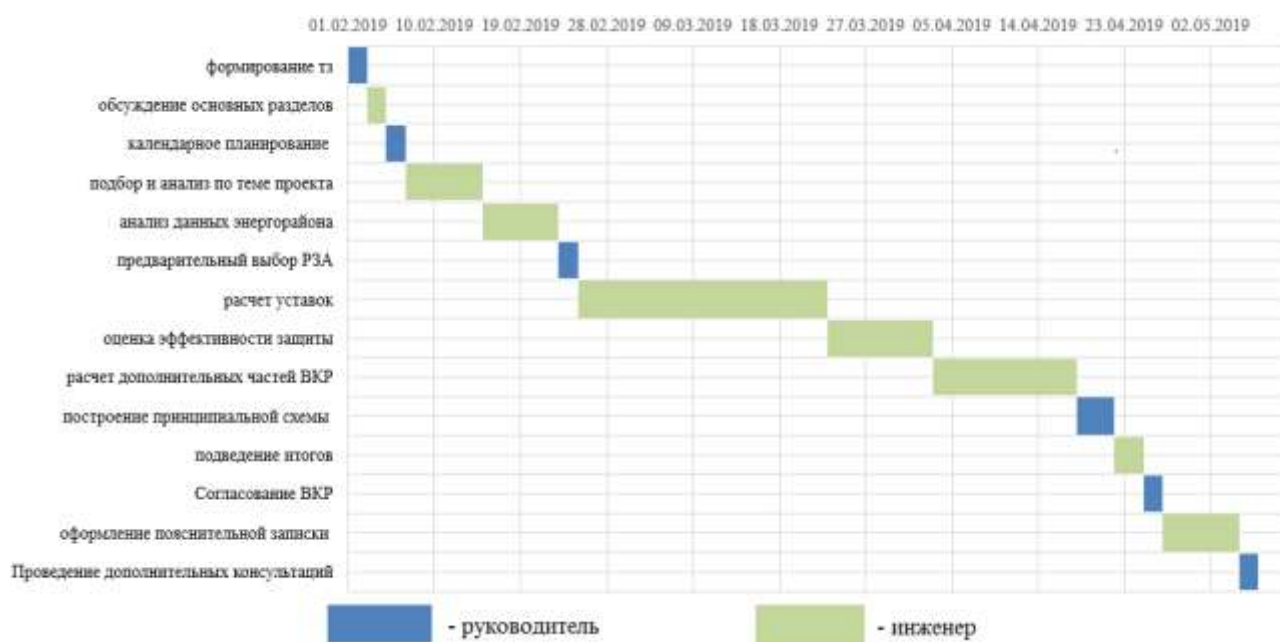


Рисунок 3.3.1.1 – График Ганта

В ходе данного этапа работы были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Был построен график Ганта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками. По диаграмме, итоговая длительность выполнения проекта в рабочих днях составила 95 дня.

3.4 Определение бюджета разработку проекта

В процессе планирования бюджета проекта необходимо обеспечить полное и точное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Ниже представлена группировка затрат по статьям расходов, используемая при формировании бюджета проекта:

- материальные затраты проекта;
- амортизационные отчисления;
- основная заработная плата участников;
- дополнительная заработная плата участников;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

3.4.1 Расчет материальных затрат на разработку проекта

Расчет материальных затрат на разработку текущего проекта представлен в таблице 3.4.1.1.

Таблица 3.4.1.1 – Расчет материальных затрат на разработку проекта

Наименование	Цена, руб. (за шт.)	Кол-во	Общая стоимость, руб.
Ручка шариковая "XR-30", 0.7мм, Erich Krause	30	2	60
Карандаш механический MEGAPOLIS CONCEPT, 0,5мм, Erich Krause	60	1	60
Мышь Defender Datum "MB-345" Black USB 52345	290	1	290
Бумага Xerox PerfectPrint	250	1	250
Картридж для лазерного принтера Cactus CS- C719 Black для Canon i-SENSYS MF5840 MF5880 LB	790	1	790
Итого	1450		

Исходя из данных, представленных в таблице 3.4.1.1, материальные затраты на выполнение проекта составили 1450 рубль.

3.4.2 Расчет затрат на оборудование и программные комплексы

Расчет затрат на оборудование и программные комплексы учитываем в виде амортизационных отчислений, так как данное оборудование и программы предоставляются высшим учебным заведением. Проектирование осуществлялось на моноблоке MSI Pro 20ET 7M-023RU. Были использованы следующие программные комплексы: АРМ СРЗА и Microsoft Office 2010.

Таблица 6 – Затраты на оборудование и программные комплексы и амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизация, руб.
1	Лицензия на программный комплекс АРМ СРЗА	1	680000	13041,10

Продолжение таблицы 6

2	Персональный компьютер	1	50150	4259,31
Итого (З _{мат})				17300,41

Продemonстрируем расчет показателей амортизации, результаты расчетов зафиксируем в таблице 6:

$$A_{APM \text{ СРЗА}} = \frac{\text{стоимость} \cdot N_{\text{дней.использования}}}{\text{срок службы} \cdot 365} = \frac{680000 \cdot 35}{5 \cdot 365} = 13041,10 \text{ руб.};$$

$$A_{ПК} = \frac{\text{стоимость} \cdot N_{\text{дней.использования}}}{\text{срок.службы} \cdot 365} = \frac{50150 \cdot 95}{3 \cdot 365} = 4259,31 \text{ руб.}$$

3.4.3 Основная заработная плата участников проекта

В ходе выполнения данного этапа расчета рассчитывается основная заработная плата участников проекта: научный руководитель и инженер. Величину расходов по заработной плате определяют трудоемкость выполняемых работ и действующая система окладов и тарифных ставок.

Заработная плата работников представляет собой сумму двух составляющих: основная и дополнительная заработная плата. Основная заработная плата включает в себя премии, выплачиваемые из ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от оклада, а также доплаты и надбавки. Дополнительная заработная плата составляет 12-20 % от основной.

Формула расчета заработной платы представлена ниже:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{зп}$ – заработная плата;

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Расчет основной заработной платы выполняем по формуле, представленной ниже:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Расчет среднедневной заработной платы выполняем по формуле:

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн (таблица 3.4.3.1).

Таблица 3.4.3.1 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные и праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	56 4	56 4
Действительный годовой фонд рабочего времени	241	241

Зарплата работника за месяц рассчитывается по формуле, представленной ниже:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{ТС}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (принимается равным 0,2);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

1) Рассчитаем заработную плату каждого из работников:

а) расчет заработной платы руководителя:

$$Z_{\text{м}} = 26624 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51916,80 \text{ руб.}$$

б) расчет заработной платы инженера:

$$Z_{\text{м}} = 21760 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 42432,00 \text{ руб.}$$

2) Рассчитаем среднедневную заработную плату работников:

а) среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн. руководителя}} = \frac{51916,8 \cdot 10,4}{241} = 2240,39 \text{ руб.};$$

б) среднедневная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{дн. инженера}} = \frac{42432,00 \cdot 11,2}{241} = 1971,94 \text{ руб.}$$

3) Рассчитаем основную заработную плату работников:

а) основная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 2240,39 \cdot 7 = 15682,75 \text{ руб.};$$

б) основная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{осн}} = 1971,94 \cdot 69 = 136064,11 \text{ руб.}$$

Обобщенный результат расчетов представлен в таблице 3.4.3.2:

Таблица 3.4.3.2 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	26624	0,3	0,2	1,3	51916,80	2240,39	7	15682,75
Инженер	21760	0,3	0,2	1,3	42432,00	1971,94	69	136064,11
Затраты по основной заработной плате, руб.	151746,86							

3.4.4 Дополнительная заработная плата участников проекта

Затраты на дополнительную заработную плату исполнителей проекта учитывают величину доплат за отклонение от нормальных условий труда, предусмотренных трудовым кодексом Российской Федерации, а также выплат, связанных с обеспечением компенсаций и гарантий.

Расчет дополнительной заработной платы выполняем по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп.}} = k_{\text{доп.}} \cdot Z_{\text{осн.}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,15).

Выполним расчет дополнительной заработной платы:

а) дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{доп.руковод.}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 15682,75 = 2352,41 \text{ руб.};$$

б) дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп.инженера}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 136064,11 = 20409,62 \text{ руб.}$$

в) затраты по дополнительной заработной плате:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{доп.руковод.}} + Z_{\text{доп.инженера}} = 22762,03 \text{ руб.}$$

3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ), медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на уплату труда работников.

Ставка отчислений во внебюджетные фонды для учреждений, осуществляющих научную и образовательную деятельность, на 2018 год составляет 30%.

Величину отчислений во внебюджетные фонды определяем по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб.}} = k_{\text{внеб.}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп.}}),$$

где $k_{\text{внеб.}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Выполним расчет отчислений во внебюджетные фонды:

а) отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$Z_{\text{внеб.руковод.}} = 0,3 \cdot (15682,75 + 2352,41) = 5410,55 \text{ руб.};$$

б) отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{\text{внеб.инженера}} = 0,3 \cdot (136064,11 + 20409,62) = 46942,12 \text{ руб.}$$

3.4.6 Накладные расходы

Статья накладных расходов вводится для учета затрат организации, не попавших в предыдущие статьи расходов. Величину накладных расходов определяем по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{аморт}} + З_{\text{мат}} + З_{\text{осн з/п}} + З_{\text{доп з/п}} + З_{\text{со}}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 0,16)

$$З_{\text{накл}} = 39297,91 \text{ руб.}$$

3.4.7 Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат разрабатываемого проекта является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при составлении договора с заказчиком принимается в качестве нижнего предела затрат на разработку.

В таблице 3.4.7 проиллюстрировано определение бюджета затрат на разработку проекта.

Таблица 3.4.7 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
Амортизация оборудования и программных комплексов	17300,42	6,07
Материальные затраты	1450	0,51
Затраты по основной заработной плате	151746,86	53,26
Затраты по дополнительной заработной плате	22762,03	7,99
Отчисления во внебюджетные фонды	52352,67	18,38
Накладные расходы	39297,91	13,79
Бюджет затрат проекта	284909,88	100

В соответствии с результатами расчета бюджета затрат на разработку проекта, сумма, необходимая на его реализацию составила 284909,88 рублей. Основные расходы пришлись на статью затрат по заработной плате сотрудников – 53,26 % от общего бюджета затрат проекта.

3.5 Описание потенциального эффекта проекта

В результате выполнения раздела «Финансовый менеджмент» были выполнены все задачи, поставленные в начале данного раздела.

1) Из анализа перспективности выполняемого проекта «расчет релейной защиты линии 220 кВ ПС «Новокузнецкая» – ПС «НКАЗ»-2-2», при помощи Quad технологии, был сделан вывод от высокой перспективности данной работы.

2) Планирование работ в рамках разрабатываемого проекта было выполнено в полной мере. Итоговая длительность выполнения проекта составила 95 рабочих дней

3) Сумма, необходимая на осуществление проекта, составила 284909,88 рублей. Основные расходы приходятся на основную заработную плату сотрудников – 53,26 % от общего бюджета затрат.

В ходе выполнения проекта был выполнен выбор и расчет защит линии электропередач (ЛЭП) 220 кВ.

В качестве основной защиты была использована ДЗ которая состоит из трех ступеней, в качестве резервной защиты была принята трехступенчатая ТЗНП. Для защиты от коротких замыканий на землю была установлена токовая ступенчатая защита нулевой последовательности. Все выбранные виды защит входят в состав комплекта ШЭ 2607 016.

Каждая из рассчитанных защит (ДЗ, ТЗНП, СТЗ) обеспечивает функции ближнего резервирования в соответствии с предъявляемыми требованиями руководящих указаний, что является показателем эффективности их функционирования при защите выбранной ЛЭП.